

MEDIDA DEL COEFICIENTE DE ABSORCIÓN ACÚSTICO EN AGUA

Referencia PACS: 43.55.EV

C. Orti¹ ; R. Picó²; V. Sánchez-Morcillo², J. Solé Rebull³, P. Ruiz Molina³, N. Ortega Ortega³

¹Universitat Politècnica de València, Paraninf 1, 46730 Grao de Gandia, València, Spain

²Instituto de Investigación para la Gestión Integrada de zonas Costeras, Universitat Politècnica de València, Paraninf 1, 46730 Grao de Gandia, València, Spain

³Centro Tecnológico Naval y del Mar, Parque Tecnológico de Guente Alamo Crta. El Estrecho-Lobosillo Km. 2, Fuente Álamo, Murcia Spain

ABSTRACT

En el presente trabajo se pretende llevar a cabo la adaptación de la metodología descrita en la norma UNE-EN ISO 354 2004, comúnmente usada, para la obtención del coeficiente de absorción acústico de un material en aire y para frecuencias audibles, a condiciones de frecuencias ultrasónicas y en agua. Para ello se dispone de varias muestras de un material anecoico, suministrado por el Centro Tecnológico Naval y del Mar de Murcia, las cuales serán evaluadas para la adaptación del método mencionado y comparadas con los resultados obtenidos mediante la metodología de obtención del coeficiente de absorción en incidencia normal y campo libre.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad existen pocos estudios y metodologías para la estimación del coeficiente de absorción acústica en agua. No obstante, en algunos trabajos se muestran resultados correspondientes a ensayos que diferentes configuraciones de medida, como la adaptación del método de cámara reverberante [1,2], o métodos de cálculo directo de energía [3].

La calibración de hidrófonos, medición de potencia o la caracterización de transductores son aplicaciones en acústica submarina que requieren que el experimento se realice bajo condiciones de campo libre en un tanque de agua. Las ondas ultrasónicas generadas por el transductor inciden sobre las paredes del tanque y se reflejan y dispersan sobre los diversos objetos sumergidos en el agua, produciendo un solapamiento con la señal directa proveniente del objeto de estudio.

Esto se puede lograr mediante el uso de tanques hechos de un material totalmente absorbente [4]. Sin embargo, los tanques suelen estar hechos de materiales con elevada impedancia

acústica, tal como el vidrio, el policarbonato, acero, etc. generalmente buenos reflectores de ondas ultrasónicas. Es por tanto necesario el uso de otro material que pueda ser adherido en las paredes del tanque, para tratar de eliminar estas reflexiones indeseadas mediante absorción acústica.

Las pérdidas de energía acústica de las ondas ultrasónicas por reflexión en los materiales se caracterizarán mediante el coeficiente de absorción acústica α , entendiéndose por tal a la relación entre la energía acústica absorbida por un material y la energía acústica incidente sobre dicho material, por unidad de superficie y que puede variar desde un 0 % al 100 %, para diferentes materiales, en el primer caso la reflexión es total y en el segundo lo es la absorción.

En este estudio se propone y se comparan experimentalmente dos métodos de caracterización del coeficiente de absorción acústica de un material absorbente.

MATERIAL Y MÉTODOS

Muestras:

Disponemos de dos muestras de material absorbente, suministradas por el Centro Naval de Murcia, de idénticas características geométricas, aunque de diferente composición química (ver Figura 1).

Estas muestras están pensadas para realizar la función de recubrimiento en tanques de medida empleados habitualmente en ultrasonidos. Por ello, serán sometidas a los diferentes métodos de medida propuestos en este estudio, para la caracterización de su coeficiente de absorción acústico en el rango frecuencial comprendido entre los 40 y los 160 kHz.

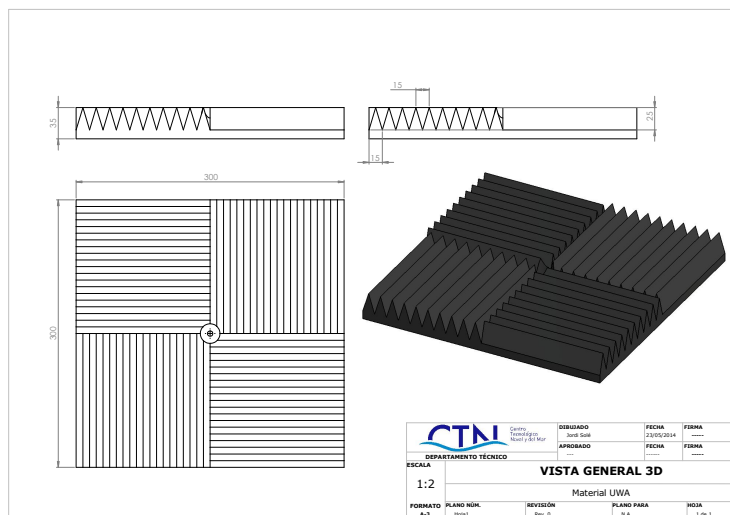


Figura 1. Muestras de material absorbente

Ambas muestras serán analizadas por sus superficies con forma de cuña y también por su parte posterior, con superficie plana, para obtener una evaluación la contribución del material de construcción. Para el resto del documento nos referiremos a la superficie con geometría en forma de cuña como “cuñas” y a la otra superficie como “superficie plana”.

Método 1; Incidencia Normal-Campo Libre:

En un primer método se evaluará el coeficiente de absorción acústica para una disposición de incidencia normal en campo libre, cuyo principio de medida se representa en la Figura 2.

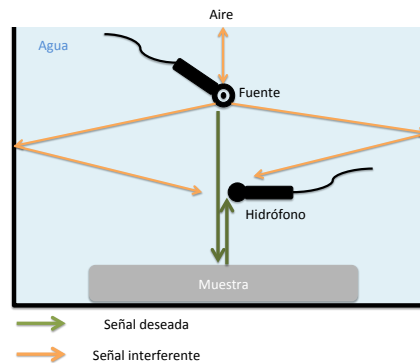


Figura 2. Esquema de medida para el método de incidencia normal en campo libre

En este caso la energía total que choca contra una superficie, una parte se refleja, otra parte es absorbida en la propia superficie y la otra parte, transmitida al espacio a través de la propia superficie.

Dividiendo estos, los fragmentos de energía son:

El coeficiente de reflexión de energía $|r|^2$

El coeficiente de absorción α

El coeficiente de transmisión de energía $|t|^2$

y aplicando el principio de conservación de energía se obtiene,

$$|r|^2 + \alpha + |t|^2 = 1$$

La onda viajera, al chocar en dirección normal sobre una superficie será reflejada con una disminución de intensidad debido a la absorción del material. Si la presión de la onda de sonido incidente y reflejada son llamadas P_i y P_r respectivamente, y el coeficiente de reflexión r a un punto, es definido por,

$$r = \frac{P_r}{P_i}$$

Las intensidades de las dos ondas son proporcionales a $|P_i|^2$ y $|P_r|^2$, el coeficiente de reflexión de energía es,

$$r^2 = \left| \frac{P_r}{P_i} \right|^2$$

Si el fragmento de energía que traspasa la muestra es muy pequeña (despreciable) comparada con la absorbida, entonces el coeficiente de absorción de energía es obviamente representado por la ecuación,

$$\alpha = 1 - r^2$$

Los estudios críticos de numerosos métodos para medir la impedancia acústica en incidencia normal, hace que se confíe aquí, en la descripción del principal método que se parece frecuentemente ser usado.

Método 2; Incidencia Aleatoria-Cámara Reverberante:

El principio seguido en un segundo método es el especificado en la normativa internacional UNE-EN ISO 354:2003 [5], con las correcciones necesarias para la adaptación de este método en agua.

En dicho método, se dispone de una cámara reverberante, cuyas condiciones han sido validadas según las exigencias de la norma y que no variarán durante la totalidad de las mediciones. Se mide el tiempo de reverberación promedio en la cámara con y sin muestra de ensayo RT_1 y RT_2 respectivamente.

A partir de estos tiempos de reverberación, se calcula el área de absorción sonora equivalente A_T por medio de la ecuación de Sabine.

El área de absorción sonora equivalente, A , en metros cuadrados, de la cámara reverberante vacía A_1 y con la muestra A_2 , se calculará utilizando la fórmula:

$$A_n = \frac{55.3V}{cT_n}$$

donde

- V es el volumen en metros cúbicos de la cámara vacía.
- c es la velocidad de propagación del sonido en agua y en metros por segundo.
- T_n es el tiempo de reverberación, en segundos, de la cámara vacía.

El área de absorción sonora equivalente A_T , en metros cuadrados, de la muestra, se calculará utilizando la fórmula:

$$A_T = A_2 - A_1 = 55.3V \left(\frac{1}{c_2 T_2} - \frac{1}{c_1 T_1} \right)$$

donde

- c_1 es la velocidad de propagación del sonido en agua a temperatura t_1 .
- c_2 es la velocidad de propagación del sonido en agua a temperatura t_2 .
- A_1, V, T_1 tienen el mismo significado que en las expresiones anteriores.
- A_2, V, T_2 tienen el mismo significado que en las expresiones anteriores.

El coeficiente de absorción sonora α_m del absorbente se calculará mediante la fórmula:

$$\alpha_m = \frac{A_T}{S}$$

donde

- A_T es el área de absorción sonora equivalente, en metros cuadrados.
- S es el área en metros cuadrados de la muestra de ensayo.

Además del método de Sabine, utilizada en normativa, existen varias expresiones para calcular el coeficiente de absorción de un material mediante la obtención del tiempo de reverberación de una sala. Una de ellas es la formulada por Eyring, la cual está pensada para su utilización en salas muy pequeñas o con una absorción muy elevada, por lo que parece idónea para nuestro caso.

Su expresión es la que sigue:

$$TR = \frac{55.3V}{c} \frac{1}{-S \ln(1 - \bar{\alpha})} \quad \text{para,} \quad \bar{\alpha} = \frac{\sum S_i \alpha_i}{S}$$

donde

- V es el Volumen en metros cúbicos de la cámara vacía.
c es la Velocidad de propagación del sonido en agua en metros por segundo.
S es la Superficie total de los cerramientos en metros cuadrados.
 S_i es la superficie iésima de un cerramiento en metros cuadrados.
 α_i es el coeficiente de absorción iésimo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación se muestran los resultados más representativas del coeficiente de absorción acústico para ambas muestras evaluadas en su superficie plana y también en la formada por las cuñas. Se analizaran los resultados para los dos métodos evaluados: en incidencia normal y en cámara reverberante.

Incidencia Normal – Campo Libre

En este método se emite una señal tipo burst en incidencia normal en dirección a la muestra, capturando la señal reflejada mediante un hidrófono. A partir de la señal directa y la proveniente de la muestra se calcula el valor del coeficiente de absorción acústico para cada frecuencia evaluada.

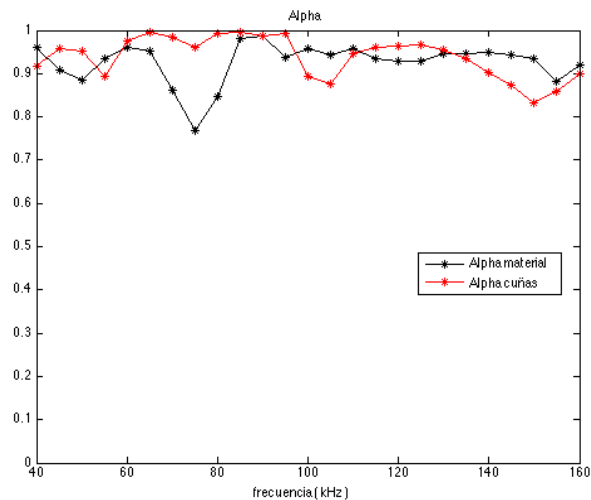


Figura 3. Coeficiente de absorción α para el método de campo libre para la muestra 1 con la superficie plana y superficie con cuñas

En la Figura 3 se muestra en color negro la absorción acústica medida con el material en su cara plana. Se evalúa, por tanto, únicamente la absorción del material de construcción de la muestra. En rojo se muestra la absorción acústica de la muestra en su cara con cuñas. Se evalúa así la absorción propia del material y la difusión sonora debida a la disposición y geometría de las cuñas.

En los resultados de la muestra 1 se puede apreciar una tendencia variable del coeficiente de absorción acústico en prácticamente todo el espectro, con una disminución significativa de absorción en las frecuencias comprendidas entre 75 kHz y 80 kHz y también para el rango más elevado de frecuencias (alrededor de 130kHz).

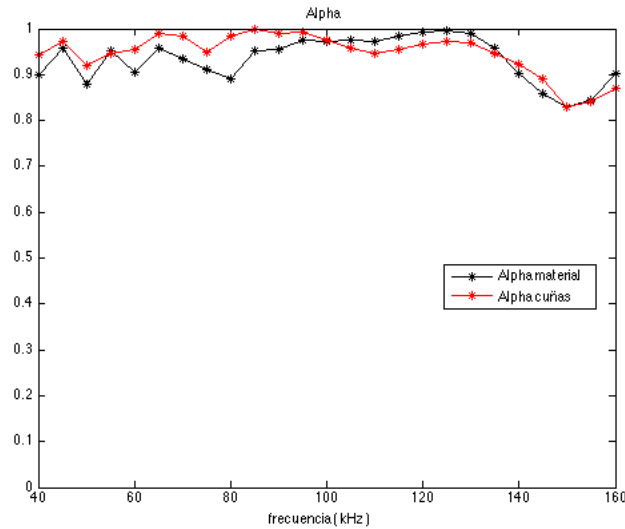


Figura 4. Coeficiente de absorción α para el método de campo libre para la muestra 2 con la superficie plana y superficie con cuñas

En este caso las curvas obtenidas presentan mayor similitud que en la muestra 1, aportando un valor de alpha comprendido entre 0.9 y 0.99 en todo el espectro a excepción del rango mas elevado de frecuencias, tal y como ocurría para la muestra anterior.

Cámara Reverberante

En el método de cámara reverberante, se obtiene el factor de absorción acústica mediante la técnica descrita en la normativa vigente [5].

La aplicación del método según la normativa utilizando la expresión de Sabine, da lugar a resultados inválidos para las condiciones de medida del experimento, debido a que el coeficiente de absorción obtenido para todas las frecuencias es superior a 1. Esto implica que la muestra absorbe más energía de la que recibe, lo cual es físicamente imposible.

Este hecho era previsible, ya que como sabemos la expresión de Sabine solo es válida para coeficientes de absorción promedio inferiores a 0.25, y la cámara de reverberación empleada, ya supera este valor en varias frecuencias. Por ello se ha utilizado la expresión de Eyring para validar el método.

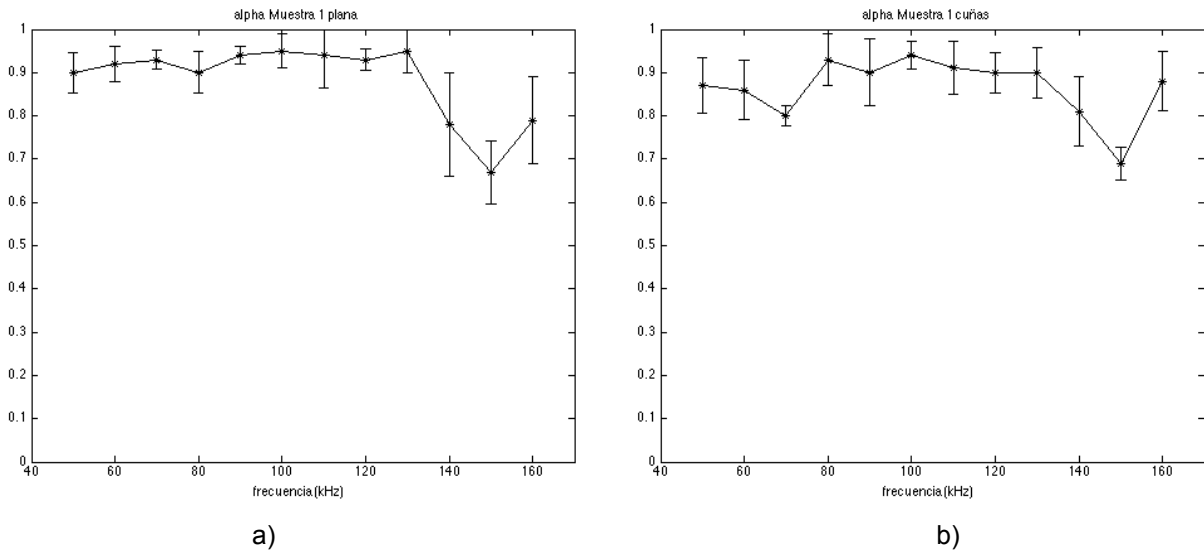


Figura 5. Coeficiente de absorción α con desviación estándar para el método de cámara reverberante con a) la muestra 1 plana y b) con la muestra 1 con cuñas

En las Figura 5a y 5b se muestra el coeficiente de absorción acústica y el error de la medidas calculado a partir de la desviación estándar de los resultados en las 5 posiciones de medida. En la Figura 5a se ha medido la muestra en su cara plana y en la Figura 5b en su cara con uñas. En ellas, se observa un patrón prácticamente plano del coeficiente de absorción acústico para todo el espectro medido excepto para el rango más elevado de frecuencias (por encima de 130kHz), al igual que ocurría en el método de incidencia normal. Por otra parte, se observa un leve descenso de la absorción para las frecuencias comprendidas entre los 75 y los 80 kHz.

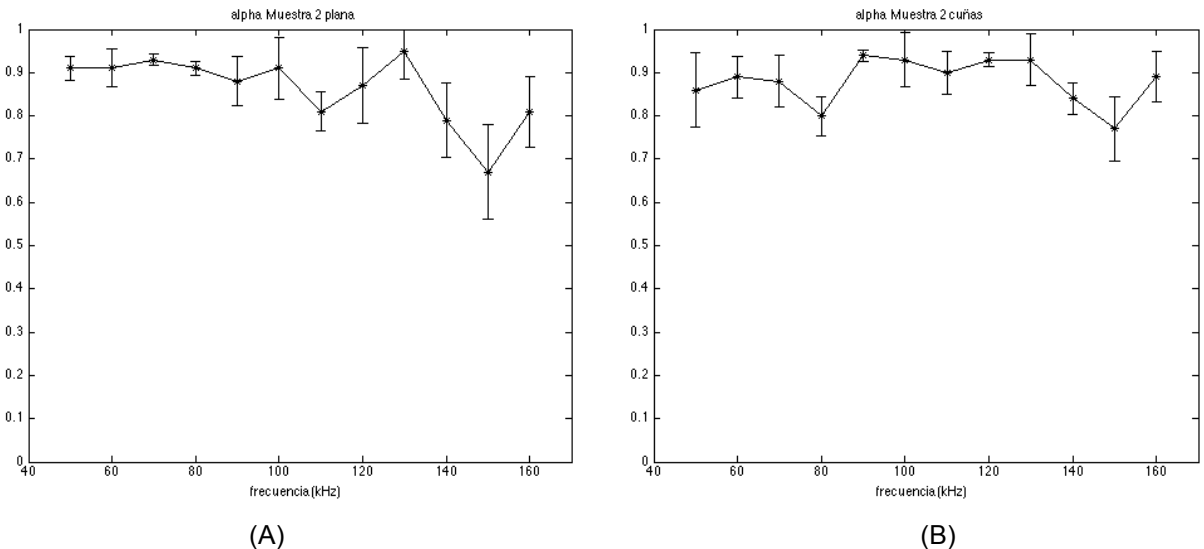


Figura 6. Coeficiente de absorción α con desviación estándar para el método de cámara reverberante con muestra 2 plana (A) y muestra 2 con cuñas (B)

El patrón descrito para los resultados de la muestra 1, se repiten para la segunda muestra, mostrando también un descenso de la absorción para la alta frecuencia y entorno a los 75 – 80 kHz, con un patrón menos plano que en el caso anterior.

CONCLUSIONES

En el estudio las muestras bajo test han sido analizadas por ambas caras (con cuñas y plana), obteniendo información sobre la absorción acústica propia al material en el caso de la superficie plana, y difusión sonora debida a la contribución de la geometría en el lado de la superficie con cuñas.

Dos métodos de medida han sido considerados para la obtención del coeficiente de absorción acústico: el método de incidencia normal y el de cámara reverberante. Éste último se trata de la adaptación para agua de la metodología comúnmente empleado en aire descrita en la norma UNE-EN ISO 354 2004.

Teniendo en cuenta los distintos parámetros de medida valorados en ambos métodos, ya que en el primero únicamente se evalúa la absorción del material en incidencia normal y en el segundo se considera incidencia aleatoria, los resultados no son directamente comparables, aunque si son válidos para obtener una valoración de la validez de las metodologías. No obstante, los resultados obtenidos para el coeficiente de absorción acústica mediante ambos métodos presentan valores medios muy próximos habida cuenta el error de medida y un comportamiento en función de la frecuencia similar con una disminución para el rango de frecuencias comprendido entre los 75 kHz y 80 kHz y las frecuencias más elevadas (alrededor de 130kHz). Estos resultados nos permiten valorar las posibilidades de utilización del método descrito en la normativa UNE-EN ISO 354 2004 en agua para el rango de frecuencias de trabajo de 50kHz a 160kHz.

REFERENCIAS

[1] Yang Daheng and Li Qi. The Variance of Measurement of Sound Absorption of Material in the Underwater Reverberation Chamber. International Conference on Computer and Automation Engineering (ICCAE 2011).

[2] Yang Song*, Zhen -qi Zhao, Wei Zhang, Sheng-qi Yu. Research on the reverberation absorption coefficient of material measured by underwater reverberation field method.

[3] Scientia et Technica Año X, No 25, Agosto 2004. UTP. ISSN 0122-1701. Medición del coeficiente de absorción del sonido.

[4] Biswajit Paik, Ashok Kumar, Reeta Gupta, Yudhisther Kumar. Selection of a Lining Material for Anechoic Water Tank. Acustica united with acustica Vol. 88 (2002) 195-198.

[5] Norma UNE-EN ISO 354:2004. Medición de la absorción acústica en una cámara reverberante.